جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست‌وپنج، بهار ۱۳۹۷

صص ۳٦-۱۷

DOI: 10.22067/geo.v7i1.66078

تحلیل تغییرات مکانی-زمانی لندفرم‌ها و کاربری اراضی در بیابان‌زایی دشت یزد-اردکان با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال

امیر کرم[۱]- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

منیره رعیتی شوازی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

حمیدرضا غفاریان مالمیری- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

عادل سپهر- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/٤/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۹/۱۸

چکیده

بررسی و تحلیل اطلاعات مکانی و زمانی لندفرم‌ها و کاربری اراضی با استفاده از داده‌های چند زمانه از جمله مباحثی است که در مطالعات بیابان‌زایی و تحلیل روند تغییرات آن حائز اهمیت است. پژوهش حاضر با استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور، به شناسایی و تحلیل تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژی و کاربری اراضی در بخشی از دشت یزد-اردکان پرداخته است. بدین منظور از تصاویر سنجنده های TM و OLI ماهواره Landsat مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦، در بازهٔ زمانی ۳۰ ساله استفاده شد. ابتدا تصحیحات لازم بر روی تصاویر انجام گردید و سپس بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، ژئومورفولوژی و تصاویر گوگل ارث، لندفرم‌های ژئومورفولوژی و طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه تعریف و نمونه‌های آموزشی انتخاب گردید. سپس تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی و نقشه لندفرم‌ها و کاربری اراضی تهیه شد. دقت تصاویر طبقه‌بندی نیز با ضریب کاپا و دقت کلی محاسبه شد. درنهایت به‌منظور شناخت وضعیت تغییرات لندفرم‌ها از روش آشکارسازی تغییرات "پس از طبقه‌بندی" استفاده شد. نتایج نشان داد که لندفرم‌های موجود بروی دشت سر پوشیده به‌جز تپه‌های ماسه‌ای مواج دارای روند نزولی تا سال ۲۰۱٦ بودند و این در حالی است که مناطق شهری و اراضی زراعی و باغات و جنگل‌های دست کاشت که بروی دشت سر پوشیده بودند، طبق تغییرات کاربری اراضی دارای روند صعودی بوده‌اند؛ و به‌طورکلی این نتایج نمایانگر آن است که در محدوده مورد مطالعه در طی ۳۰ سال، نه‌تنها بر وسعت

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲٦٦٥۸۲۷۰ Email: aa-karam@yahoo. com

اراضی بیابانی افزوده نشده است، بلکه از محدوده اراضی بیابانی کاسته شده و بر دیگر کاربری‌ها افزوده شده است. همچنین در شرق و غرب منطقه مرز لندفرم‌ها تغییر کرده است.

واژگان کلیدی: تغییرات مکانی-زمانی، لندفرم، کاربری اراضی، بیابان‌زایی، حداکثر احتمال، دشت یزد-اردکان

۱- مقدمه

بیابان‌زایی به فرایند تخریب و انهدام اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق فراخشک، خشک و خشک نیمه مرطوب اطلاق می‌شود که کاهش تولید زیست توده و ظهور آثار تخریب خاک یا فرسایش را به دنبال دارد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). بیش از ۸۰٪ از کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک و فراخشک قرار دارد که دارای شرایط اکولوژیکی شکننده‌ای هستند و تحت تأثیر معضل بیابان‌زایی قرار دارند (خلیلی، ۱۳۷۱).

به‌منظور مطالعه بیابان‌زایی و تحلیل روند تغییرات آن، دامنه وسیعی از مجموعه اطلاعات مکانی و زمانی مانند ژئومورفولوژی و کاربری اراضی مورد نیاز است. در واقع تحلیل تغییرات آنها، فرایند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیتشی یا پدیده به‌وسیله مشاهده آن در زمان‌های متفاوت است که پایه‌ای برای فهم بهتر روابط و تعاملات انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده بهتر از منابع را فراهم می‌آورد (Lu et al., 2004; Ridd & Liu, 1998). در امر مدیریت محیط، متداول‌ترین مساعدت ژئومورفولوژیست ها عبارتند از: تهیه نقشه چشم‌اندازهای موجود در زمین با تأکید بر ویژگی‌های منتخب آن، شناخت ماهیت و علل تغییرات چشم‌انداز زمین و ساماندهی آن بر حسب پیش‌بینی‌های روند در جریان فرایندهای شکل‌گیری و تحول لندفرم‌ها (ملامهر علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). استفاده خاص انسان از زمین تحت عنوان کاربری اراضی نیز از موارد مهمی است که در ارزیابی استعداد اراضی برای بیابانی شدن مد نظر قرار می‌گیرد. این کاربری‌ها در فواصل زمانی در حال تغییر است. در مناطق خشک و نیمه خشک معمولاً این تغییرات منجر به افزایش بیابان‌زایی می‌شود (گیویی اشرف و سرکارگر اردکانی، ۱۳۹۰).

تکنیک‌های سنجش از دور در کشف و شناسایی تغییرات مکانی-زمانی و مدیریت منابع، برتر و کارآمد هستند، ولی روش‌های سنتی برای محققین زمانبر و پرهزینه است (Kenneth & Gunter, 2012; Clarke et al., 2002). در سنجش از دور، روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور تهیه نقشه لندفرم‌ها و کاربری اراضی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. انتخاب روش به هدف مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌شود. از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی می‌توان به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال[1] (Masoud & Kike, 2006; Lillesand & Kiefer, 1994) اشاره کرد.

1 Maximum Likelihood

روش‌های دیگر طبقه‌بندی مانند روش‌های حداقل فاصله[1]، فاصله ماهالانوبیس[2] (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۵ Tso & Mather, 2009; Richards & Jia, 2006; Soffianian & Madanian, 2012) و شبکه عصبی[3] (Foody, 2000; Chen et al., 1997; Howald, 1989;)، نیز توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. شبکه‌های عصبی به دلیل ماهیت غیر پارامتریک و قابلیت‌هایشان برای بهره گیری از مثال‌ها و توانایی تعمیم آنها، برای طبقه‌بندی نظارت شده[4] مناسب قلمداد می‌شوند (Mannan et al, 1998; Kavzoglu & Mather, 2004).

در زمینه کاربرد سنجش‌ازدور در تحلیل تغییرات ژئومورفولوژی و کاربری اراضی، مطالعاتی صورت گرفته است که برخی از آنها به شرح زیر می‌باشند: می‌توان به گزارش مفصل و جالب کرینسلی (۱۳۵۰) در مورد پلایاهای ایران اشاره کرد که در آن از علم دورسنجی استفاده شده است. در این گزارش، استفاده از عکس‌های هوایی در بیش از چهل سال پیش بیانگر توجه ایشان به استفاده از تکنیک فتوژئولوژی و دورسنجی در مطالعاتی به مقیاس ناحیه‌ای می‌باشد. در تحقیقی قنواتی و همکاران (۱۳۸٦) در مطالعه تغییرات کاربری اراضی و ژئومورفولوژیک منطقه خورموسی به این نتیجه رسیدند که در تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳، نقاط دارای بیش‌ترین تغییرات، در کنار سواحل و در داخل باتلاق‌ها و مرداب‌ها و جزایری که در دهانه خور موسی و در داخل خود خور قرار دارند. بیشترین تغییرات ایجاد شده در منطقه نیز با مساحت ۳۲٦۰/۷۵ کیلومتر مربع، در طبقه با شدت تغییرات ۵۰-۲۵ درصد قرار دارد. همچنین تغییرات ایجاد شده در کاربری‌های اراضی شهرهای ساحلی ماهشهر و بندر امام خمینی طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ میلادی ناشی از توسعهٔ فیزیکی شهرهای مذکور و ساخت وسازها و تأسیسات بندری است. عطاپورفرد و همکاران (۱۳۸۳)، به‌منظور تعریف و طبقه‌بندی بیابان‌های ژئومورفولوژیکی استان تهران، از روش مورفوژنیکی استفاده کردند. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM+[5]، محدوده عوارض را اصلاح و احیاناً بازسازی کردند. نتایج نشان داد که توسعه بیابان‌های ژئومورفولوژیکی استان در مرزهای غربی و جنوب غربی آن بیشتر بوده و مساحت کل آنها ۳۰۹۵۵٤ هکتار محاسبه شده است که دربر گیرنده ۱٦/۷۹ درصد از مساحت کل استان است. شایان و همکاران (۱۳۹۱) برای طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه مرنجاب از پارامترهای مورفومتریک حاصل از مدل رقومی ارتفاعی SRTM[6] و روش حداکثر احتمال استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روش ارائه شده توانسته است با دقت کلی ۸۱ درصد و شاخص کاپای ۰/۷۳، لندفرم‌ها را طبقه‌بندی کند، به گونه‌ای که پلایا و مخروط افکنه و تپه‌های ماسه‌ای بیشترین گسترش را دارد و برخان، کمترین مساحت را در منطقه در بر می‌گیرد.

---

1 Minimum Distance
2 Mahalanobis Distance
3 Neural Net
4 Supervised Classification
5 Enhanced Thematic Mapper Plus
6 Shuttle Radar Topography Mission

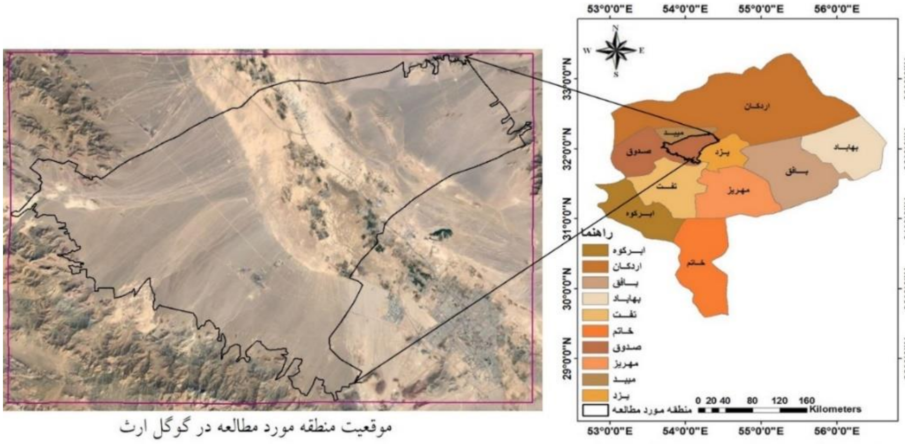
اولین طبقه‌بندی پوشش سطح زمین در مقیاس جهانی با روش حداکثر احتمال توسط DeFries & Townshed (۱۹۹٤) انجام شد. در تحقیقی Sunar (۱۹۸۸) تغییرات کاربری اراضی در ناحیه ایکتیالی ترکیه را مطالعه کرد. بدین منظور از داده‌های سنجنده TM[1] مربوط به سال‌های ۱۹۸٤ و ۱۹۹۲، از روش‌های همپوشانی تصاویر، تفریق تصاویر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و مقایسه پس از طبقه‌بندی، استفاده کرد. نتایج نشان داد که تحلیل مؤلفه‌های اصلی و طبقه‌بندی تصاویر نتایج بهتری را ارائه می‌دهند. Yang (۲۰۰٤) تحقیقاتی در مورد بیابان‌زایی در چین انجام دادند. در این تحقیقات، تغییرات کاربری زمین در طول دو دوره زمانی مختلف بررسی شد تا مشخص شود که چگونه فعالیت‌های مدیریتی کاربری زمین می‌تواند بر روی تغییر واحدهای شکل زمین تأثیر بگذارد. آن‌ها وضعیت آب و هوایی گرم و خشک منطقه را دلیل تخریب زمین و دیگر مشکلات محیطی مطرح کردند. آرخی (۱۳۹٤) در تحقیقی به آشکارسازی تغییرات پوشش-کاربری اراضی منطقه آبدانان در طی دوره زمانی ۲۵ ساله پرداخت. بدین منظور از تصاویر سنجنده ETM^+ و TM ماهواره لندست استفاده شد. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان داد در فاصله سال‌های ۱۳٦٤ تا ۱۳۸۹، شاهد روند کاهشی اراضی با پوشش مرتعی متوسط و خوب بودند. اکبری و همکاران (۱۳۹٤) در پایش تغییرات کاربری اراضی منطقه نیشابور به این نتیجه رسیدند که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۷۹٪ و دقت کلی ۸۳/۲۹ نسبت به روش‌های حداقل فاصله و ماشین بردار پشتیبان، دقت بیشتری برای تهیه نقشه‌ی کاربری ارضی با تصاویر ماهواره‌ای دارد. همچنین نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات با روش مقایسه پس از طبقه‌بندی نشان داد که افزایش سطح زیر کشت اراضی بایر و شور، گسترش باغات منطقه تحت تأثیر احداث سدهای بالادست و افزایش محدوده شهری در طی ۲۷ سال دوره تحقیق از مهم‌ترین تغییرات رخداده در منطقه است. جعفری و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر باند حرارتی و الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی کاشان پرداختند. بر اساس نتایج، بیشترین دقت کاپای حاصل از طبقه‌بندی در هر دو سنجنده TM و ETM^+، ۸٦/۳٤ و ۸۳/۲۱ درصد بدست آمد، همچنین استفاده از باند حرارتی موجب افزایش ٤ درصد دقت کاپا در هر دو سنجنده شده و بیشترین افزایش دقت در مورد کلاس‌های دشت رسی، دشت سیلابی، کوهستان و اراضی پف کرده شور رخ داد. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی-مکانی لندفرم‌های ژئومورفولوژی و کاربری اراضی در بیابان‌زایی بخشی از دشت یزد-اردکان است که بدین منظور از تصاویر سنجنده لندست طی ۳۰ سال آماری و از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد.

1 Thematic Mapper

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه دشت یزد-اردکان است که از نظر مختصات جغرافیایی در عرض جغرافیایی ″16 ′47 °31 درجه تا ″20 ′13 °32 درجه شمالی و طول جغرافیایی ″37 ′40 °53 درجه تا ″04 ′27 °54 درجه شرقی قرار دارد و در سیستم UTM در زون ۳۹ است. این محدوده طبق آخرین تقسیمات سیاسی شامل بخش مرکزی و بخش خضرآباد از شهرستان صدوق استان یزد می‌باشد (شکل ۱).



موقعیت منطقه مورد مطالعه در گوگل ارث

موقعیت منطقه در استان یزد و شهرستان صدوق

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

متوسط حداقل دما بر اساس ایستگاه سینوپتیک یزد طی ۳۰ سال آماری، ۱۲/۱٤ درجه سانتیگراد و متوسط حداکثر دما ۲٦/۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. میانگین سالانه بارندگی نیز ٦٤/۳۸ میلیمتر است. جهت غالب باد در شش ماه اول سال، شمال غربی و در چهار ماه از سال (آبان تا بهمن) جنوب شرقی است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتون آب و هوای این منطقه جزو اقلیم خشک و بیابانی با ضریب خشکی ۳/۲٤ محسوب می‌شود که دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۵٦۳/۱۱ کیلومترمربع است. این منطقه یک چشم‌انداز ژئومورفولوژی واقع در مناطق بیابانی است که از بیرونی‌ترین قسمت به سمت مرکز شامل دو تیپ اصلی ناهمواری ۱- کوهستان ۲- دشت سر است. این دشت از شمال به چاله عقدا و از جنوب به کفه بهادران منتهی شده است. دو رشته شیرکوه از جنوب و کوه‌های خرانق از شمال و شمال شرق با جهت شمال غرب-جنوب شرق این دشت را احاطه کرده‌اند. در محدوده مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی ارتفاعی، حداقل ارتفاع ۱۱۰۰ متر، حداکثر ارتفاع ۲۰۲۷ متر است. در این محدوده بیشترین گسترش ارتفاعی، در محدوده‌های ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و شیب

غالب منطقه مورد مطالعه در محدوده ۰ تا ۲ درصد برآورد شد. شیب عمومی منطقه به سمت شرق و شمال شرق می‌باشد.

۲-۲- آنالیزهای نرم افزاری

روش تحقیق در این پژوهش پیمایشی-تحلیلی است. در ابتدا اقدام به مطالعه و جمع آوری داده‌های مورد نیاز و پردازش اولیه آن به‌منظور ایجاد پایگاه داده در محیط نرم افزاری شد، بدین منظور از تصاویر سنجنده های TM و OLI[1] ماهواره Landsat مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦ استفاده شد (جدول ۱). همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه ژئومورفولوژی (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۵)، تصاویر گوگل ارث، مشاهدات میدانی برای شناسایی لندفرم‌های منطقه و تهیه نقاط تعلیمی استفاده شد.

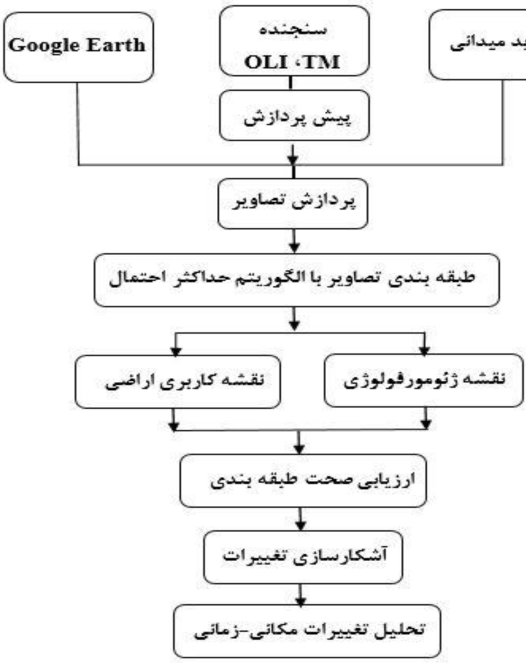
جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره Landsat مورد استفاده

ماهواره/سنجنده	تفکیک رادیومتریک	تفکیک مکانی باندهای حرارتی	تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی	تفکیک پن کروماتیک	گذر/ردیف	تاریخ تصویر برداری	
						شمسی	میلادی
لندست ۵/ TM	۸ بیت	۱۲۰*۱۲۰ متر	۳۰*۳۰ متر	ندارد	۱٦۲/38	۱۳٦٦/۳/۱	۲۲/۵/۱۹۸۷
لندست ۸/ OLI/TIRS	۱٦ بیت	۱۰۰*۱۰۰ متر	۳۰*۳۰ متر	۱۵*۱۵ متر		۱۳۹۵/۳/۱	۲۱/۵/۲۰۱٦

منبع (https://earthexplorer.usgs.gov/)

سپس این داده‌ها با هدف استخراج اطلاعات مورد تحلیل قرار گرفتند. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی و لندفرم‌های ژئومورفولوژی از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال استفاده شد. یافته‌های این مرحله جهت اعتبارسنجی از طریق نمونه‌های تعلیمی، کنترل شدند. سپس نقشه لندفرم‌ها در ۱۵ کلاس و نقشه کاربری اراضی در ۸ کلاس تهیه و بعنوان خروجی تحقیق معرفی گردید. در این پژوهش به‌منظور پردازش تصاویر، تهیه نقشه‌های طبقه‌بندی لندفرم‌ها و کاربری اراضی و تجزیه و تحلیل تغییرات آنها از نرم افزارهای ArcGIS 10/4/1 ENVI 5/3 و Excel 2013 استفاده شد. مراحل انجام تحقیق به شرح زیر می‌باشند (شکل ۲).

1 Operational Land Imager



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام تحقیق

۲-۲-۱- پیش پردازش و آماده سازی تصاویر ماهواره‌ای

مرحله پیش پردازش داده‌ها، یکی از مهمترین مراحل در پردازش تصاویر است؛ چرا که تمامی مناسبات بعدی بر اساس تصویر تولیدی در این مرحله انجام می‌گیرد. نوع و نحوه انجام این عملیات بسته به عوامل مختلفی چون نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر خواهد بود. در این پژوهش ابتدا بروی تصاویر، در نرم افزار ENVI 5/3، تصحیح رادیومتری و سپس تصحیح اتمسفری با الگوریتم فلش[1] انجام شد، با این الگوریتم تصویر رادیانس به رفلکتنس تبدیل می‌شود. همچنین این الگوریتم، طول موج‌هایی را از گستره مرئی تا 1 میکرومتر را پوشش می‌دهد و بیشتر بر روی تصاویر چند طیفی و فراطیفی کار می‌کند. این مدل می‌تواند تصویر را هم در هندسه دید قائم و هم در هندسه دید مایل از لحاظ تاثیرات اتمسفری تصحیح کند (صفری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۲-۲- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

برای انجام طبقه‌بندی نظارت شده، انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز از کلاس‌های مختلف با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جانبی و بر مبنای DN[2] پیکسل‌های تصویر رنگی RGB[3] تصاویر ماهواره لندست صورت

1 FLAASH
2 Digital Number
3 Red Green Blue

گرفت. انتخاب این تصویر رنگی، صرفاً جهت شناسایی کلاس‌های مورد نظر و انتخاب بهینه نمونه‌های تعلیمی بود. برای این منظور در منطقه مورد مطالعه به فراخور سهم هر طبقه تعداد مناسبی نمونه تعلیمی به طور تصادفی با استفاده از بررسی‌های میدانی، تصویر گوگل ارث و تصویر رنگی انتخاب شدند. در انتخاب نمونه‌های تعلیمی سعی شد ضمن اینکه معرف خوبی برای طبقات مورد نظر باشد، از پراکنش خوبی نیز برخوردار باشد. با توجه به منابع و نقشه دستی ژئومورفولوژی موجود منطقه و بازدید میدانی (اختصاصی و همکاران، ١٣٧٥)، نقشه کاربری اراضی تهیه شده از سازمان منابع طبیعی یزد و با استفاده از تصویر ماهواره‌ای و گوگل ارث، در این نقشه ١٥ لندفرم ژئومورفولوژی و ٨ کلاس کاربری اراضی در منطقه مشخص و رقومی و به روزرسانی شد. در این پژوهش از الگوریتم حداکثر احتمال به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش حداکثر احتمال: از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده ترین روش‌ها شناخته شده است (Lu et al., 2004). در روش مذکور فرض بر این است که همه‌ی مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره‌ی پیوسته قرار گیرد. بنابراین شرط توزیع نرمال و تصادفی بودن نمونه‌های تعلیمی در روش حداکثر احتمال اهمیت خاصی دارد (فاطمی و رضایی، ١٣٨٤).

حاصل نتایج طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده نقشه‌هایی است که در آنها به علت غیر یکنواختی پدیده‌های مختلف در سطح زمین و همچنین حساسیت هر کدام از آنها به بازتاب‌ها، دارای پیکسل‌های پراکنده و نامتجانس با کلاس‌های شناخته شده می‌باشد که به‌منظور بدست آوردن تصویر طبقه‌بندی شده مطلوب و با وضوح بیشتر و رفع حالت دانه فلفلی از فیلتر median در اندازه ٥×٥ استفاده شد.

٢-٢-٣- ارزیابی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده

در این مرحله نیاز به اطلاعات زمینی یا مناطق آزمایشی می‌باشد. مناطق آموزشی در حقیقت شامل نواحی نمونه از طبقات مورد نظر می‌باشد که معمولاً از طریق بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث تهیه می‌گردند (آرخی،١٣٩٣: ٣٥). ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده به روش‌های مختلف، با قطع دادن هر یک از نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی از دقت کل[1] و ضریب کاپا[2] انجام می‌گیرد (Lu et al., 2004).

دقت کلی از نسبت مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند (در محور اصلی ماتریس طبقه‌بندی قرار دارند) به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به دست آمد. دقت کلی با رابطه (١) بیان می‌شود:

1 Overall accuracy
2 Kappa Coefficient

$$OA = \frac{1}{N}\sum P_{ii} \quad (۱)$$

OA دقت کلی، $\sum P_{ii}$ مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه برای نهایی نمودن نقشه لندفرم، باید همه شاخص‌های درست و نادرست طبقه‌بندی با یک و یا چند شاخص آماری معتبر برازش داده شود از شاخص کاپا استفاده می‌شود، این شاخص با رابطه (۲) قابل بیان هست (Congalton, 1991). اگر مقدار کاپا برابر ۱ باشد درصد هماهنگی بسیار خوب است و اگر این ضریب صفر شود بیانگر عدم هماهنگی است.

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{n} m_{i,i} - \sum_{i=1}^{n} G_i C_i}{N^2 - \sum_{i=1}^{n} G_i C_i} \quad (۲)$$

در این رابطه، K شاخص کاپا، n تعداد ردیف ماتریس طبقه‌بندی، $m_{i,i}$ تعداد مشاهدات در ردیف و ستون (محور اصلی ماتریس)، C_i مجموع مشاهدات در ردیف (مجموع ردیف برای هر لندفرم)، G_i مجموع مشاهدات در ستون (مجموع ستون برای هر لندفرم)، N مجموع کل مشاهدات ماتریس طبقه‌بندی.

۲-۲-٤- آشکارسازی تغییرات[1]

در این پژوهش به‌منظور آشکارسازی تغییرات لندفرم‌های بیابانی از روش مقایسه "پس از طبقه‌بندی[2]" استفاده شد. در این روش، می‌توان به اطلاعات تغییرات "از- به" منطقه نیز دست یافت. با استفاده از این روش امکان تعیین تغییرات رخداده در هر کلاس نسبت به کلاس دیگر وجود دارد.

۳- نتایج و بحث

با توجه به منابع موجود، ۸ کلاس کاربری اراضی در منطقه مشخص شد. کلاس‌های کاربری اراضی مذکور عبارتند از: اراضی زراعی و باغی، جنگل‌های دست کاشت، اراضی شور و نمک زار، تپه‌های ماسه‌ای، مناطق مسکونی، مراتع کم تراکم با تاج پوشش ۲۵-۵ درصد، مراتع نیمه متراکم با تاج پوشش ۵۰-۲۵ درصد، اراضی بدون پوشش گیاهی و بیرون زدگی سنگی. همچنین با توجه به بازدیدهای میدانی، منابع موجود و نقشه دستی ژئومورفولوژی دشت یزد-اردکان (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۵)، نسبت به شناخت و تفکیک لندفرم‌های منطقه اقدام گردید. مشخصات کلاس‌های لندفرم در جدول ۲ ذکر شده است (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۵).

---

1 Change Detection
2 Post Classification

جدول ۲. ویژگی کلاس‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

<table>
<tr><th>طبقه</th><th colspan="2">کلاس</th><th>ویژگی‌ها</th></tr>
<tr><td>۱</td><td colspan="2">مخروط افکنه</td><td>در منطقه واریزه‌های بادبزنی با منشاء آبرفتی در محدوده ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۲۷ متر از سطح دریا قرار دارند، بخشی از مخروط افکنه ها در زیر عناصر آبرفتی دشت سرهای لخت دفن شدند، آبراهه‌های متعدد توام با پوشش قلوه سنگی تا سنگریزه پوشش سطحی آنهاست.</td></tr>
<tr><td>۲</td><td colspan="2">دشت سر لخت</td><td>وجود شبکه‌های منفرد و بهم پیوسته آبراهه‌ها در این لندفرم توام با تراس‌های جانبی، وجود آبرفت‌های دانه درشت و قلوه سنگ‌های مدور در آبراهه‌ها، انبوهی پوشش گیاهی ۲۰ درصد با تراکم بیشتر در مسیر آبراهه‌ها از ویژگی‌های این دشت سر در منطقه لست.</td></tr>
<tr><td>۳</td><td colspan="2">دشت رسی</td><td>به اصطلاح محلی، اراضی دقی بستر اصلی سایر لندفرم‌های موجود در دشت سرپوشیده هستند. در غالب نقاط این لندفرم، آثار فرسایش بادی بدلیل وجود خاک ریزدانه، به صورت پوسته پوسته شدن و شلجمی شکل بر سطح خاک است که عموماً رأس آنها به سمت شمال غرب است.</td></tr>
<tr><td>٤</td><td colspan="2">دشت سر پوشیده</td><td>دشت سر پوشیده منطقه با شیب عمومی جنوب شرقی- شمال غربی به عنوان زهکش دشت سرهای اپانداژ و لخت عمل می‌کنند که اغلب شیب شمالی-جنوبی و بالعکس دارند. ظهور لندفرم‌های متنوع فرسایش آبی و بادی به ویژه باد در آن.</td></tr>
<tr><td>۵</td><td colspan="2">اینسلبرگ</td><td>قله‌های منفرد که به صورت شکستگی و یا تغییر شیب ناگهانی در دشت سر لخت در غرب منطقه وجود دارند.</td></tr>
<tr><td>٦</td><td colspan="2">دشت سر اپانداژ</td><td>سطوحی نسبتاً هموار هستند که با شیب ملایم ۵-۱ درصد در حد واسط دشت سر لخت و پوشیده دیده می‌شوند. با کاهش شیب و سرعت جریان، ذرات نسبتاً درشت در بستر مسیل‌ها رسوب کرده و باعث تغییر دائمی بستر می‌شوند. تشکیل شبکه‌های متعدد آبراهه‌ای به نام اوئد در این واحد که در اصطلاح پخش آب نیز گفته می‌شود.</td></tr>
<tr><td>۷</td><td colspan="2">کلوت</td><td>در منطقه رستاق بر سطح خاک‌های ریزدانه و دارای املاح، فرسایش توام آبی-بادی موجب برجستگی‌های گنبدی شکل با ارتفاع متوسط ۱ متر شده که به آنها در اصطلاح کلوت (کلوتک) و به فرورفتگی‌های کانال مانند آن یاردانگ گفته می‌شود. امتداد آنها اغلب نشان دهنده جهت بادهای فرساینده از شمال غرب به جنوب شرق است.</td></tr>
<tr><td>۸</td><td rowspan="3">ارگ</td><td>برخان</td><td rowspan="3">منطقه مورد مطالعه، بخش شمال غربی ارگ یزد است که از مرفولوژی عمومی نامنظمی برخوردارند و به شکل سیلک خوشه‌ای در جهت منفی و به سمت راست (شرق و جنوب شرق) در حال تکامل است. در امتداد جنوب شرقی-شمال غربی از قدمت تپه‌های ماسه‌ای یزد کاسته شده و جوانترین و در عین حال فعال‌ترین آنها در محدوده حجت آباد و رستاق ملاحظه می‌شود. در این مناطق تپه‌های طولی و برخانوئید و برخان دیده می‌شود. *اشکال تراکمی دیگر مثل پیکان ماسه‌ای و نبکا نیز در کنار اشکال تپه‌های ماسه‌ای دیگر دیده می‌شود.</td></tr>
<tr><td>۹</td><td>تپه‌های طولی</td></tr>
<tr><td>۱۰</td><td>برخانوئید</td></tr>
</table>

ادامه جدول ۲

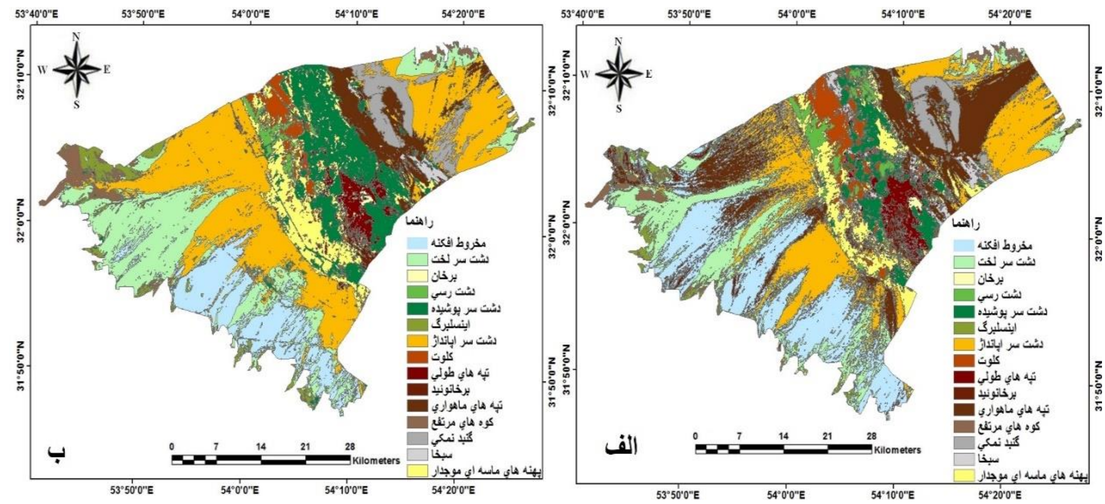
طبقه	کلاس	ویژگی‌ها
۱۱	تپه ماهورها	تپه‌هایی با ارتفاع کمتر از ۲۵۰ متر، در امتداد شمال غرب-جنوب شرق در حد فاصل دشت سر اپانداژ و پوشیده‌اند، مرتفع‌ترین آنها تپه حاجی آباد رستاق هست که با پوشش غالب قلوه سنگ تا سنگریزه‌ای به صورت رگ ظاهر شده است.
۱۲	کوه‌های مرتفع	ارتفاعاتی شامل تشکیلات دوران مزوزوئیک، رخساره گرانیت و گرانودیوریت شیرکوه هستند که به صورت بیرون زدگی در جنوب، جنوب غرب و غرب منطقه و ارتفاعات خونزا نیز در شمال شرق منطقه مشاهده می‌شوند.
۱۳	گنبد نمکی	در حوالی تاقدیس حاجی آباد رستاق، سنگ‌های پالئوژن شامل تشکیلات نمکی با ضخامت زیاد رخنمون دارد و در بعضی از قسمت‌ها به سمت جنوب شرق به صورت گنبدهای نمکی ظاهر شده است.
۱٤	سبخا	در دشت سر پوشیده و بویژه در حد فاصل حاجی آباد تا اردکان، سفره‌های عدسی شکلی به صورت چاله‌های موقت شوره زار با منشاء تکتونیکی هستند که اغلب معلول ناهمواری‌های نئوژن دوران سوم می‌باشند. این اراضی در حاجی آباد به دلیل فراوانی نمک سدیم دار و بلورهای گچ، در مقابل فرسایش بادی بسیار حساس و ناپایدار است و در حال حاضر نیز در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای محدوده حجت آباد و الله آباد نقش مؤثری ایفا می‌کند.
۱۵	تپه‌های ماسه‌ای موجدار	جزیی از دشت سر پوشیده‌اند. گاهی در مناطق برداشت با آبرفت ریزدانه، اشکالی فاقد ریپل مارک مشخص و با عناصر شن متوسط تا ماسه درشت دیده می‌شود: در محدوده بندرآباد و میمونه یزد و در نزدیکی ایستگاه تثبیت ماسه شهید بهجت حقیقی مشاهده می‌شوند.

لازم به ذکر است که در ارگ موجود در منطقه، اشکال تراکمی بادی در ابعاد کوچک‌تر مانند نبکا و پیکان ماسه‌ای نیز در کنار لندفرم‌های برخان، برخانوئید و تپه‌های طولی دیده می‌شوند ولی چون در منطقه مورد نظر در سال‌های گذشته به‌منظور تثبیت ماسه‌های روان، تاغکاری شده است؛ در طبقه‌بندی طیفی تصاویر، نبکا و پیکان ماسه‌ای به دلیل ماهیت طیفی مشابه با برخان، برخانوئید و تپه‌های طولی تاغکاری شده قابل تفکیک نبودند و بنابراین به‌طورکلی این اشکال تراکمی کوچک‌تر در کلاس ارگ قرار گرفتند و ۱۵ لندفرم ژئومورفولوژی در منطقه مشخص شد (شکل ۳).

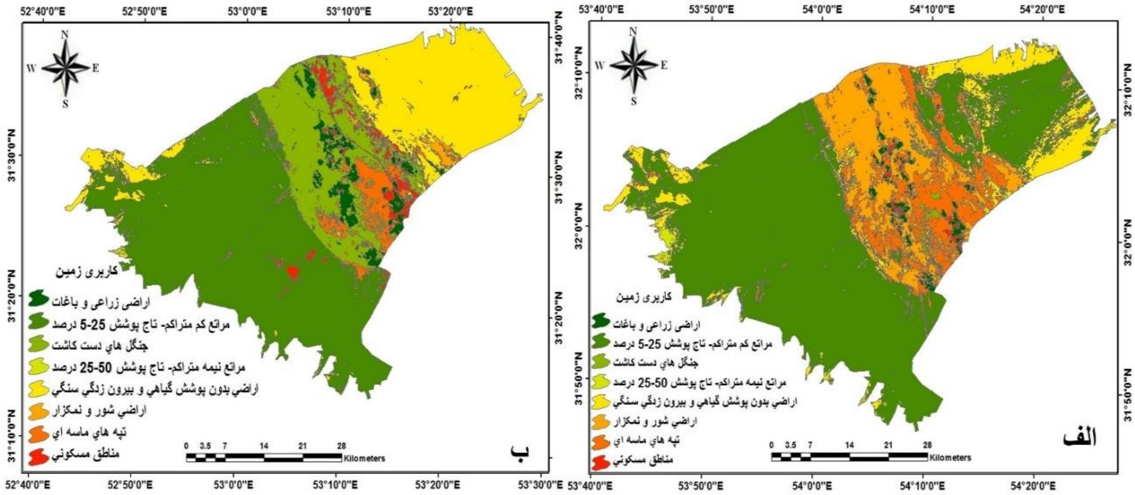


شکل ۳. نمونه‌ای از لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه: الف: برخان ب: نبکا ج: تپه ماهورها د: گنبد نمکی

بدین ترتیب با استفاده از روش حداکثر احتمال نقشه‌های ژئومورفولوژی و کاربری اراضی مربوط به سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦ تهیه شدند (شکل ٤ و ٥).



شکل ٤. نقشه‌های ژئومورفولوژی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال الف) ۱۹۸۷ ب) ۲۰۱٦



شکل ۵. نقشه‌های کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال الف) ۱۹۸۷ ب) ۲۰۱٦

نتایج حاصل از ارزیابی دقت کلی و ضریب کاپا برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها و کاربری اراضی نشان داد (جدول ۳ و ٤) که الگوریتم حداکثر احتمال جهت طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفیک و کاربری اراضی عملکرد مناسبی دارد چنانچه نتایج نشان داد که این الگوریتم در طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفیک در سال ۲۰۱٦ نسبت به سال ۱۹۸۷ با دقت کلی ۹۳/۳۵ و ضریب کاپا ۰/۸۹ و در طبقه‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۹۸۷ نسبت به سال ۲۰۱٦ با دقت کلی ۹۵/۲۵ و ضریب کاپا ۰/۹۲ دقت بالاتری داشت.

جدول ۳. ارزیابی دقت الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفیک در تصویر ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦

الگوریتم حداکثر احتمال	دقت کل (درصد)	ضریب کاپا
سال ۱۹۸۷	۹۱/۵۰	۰/۸۷
سال ۲۰۱٦	۹۳/۳۵	۰/۸۹

جدول ٤. ارزیابی دقت الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی کاربری اراضی در تصویر ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦

الگوریتم حداکثر احتمال	دقت کل (درصد)	ضریب کاپا
سال ۱۹۸۷	۹۵/۲۵	۰/۹۲
سال ۲۰۱٦	۸۸/۸۷	۰/۸۳

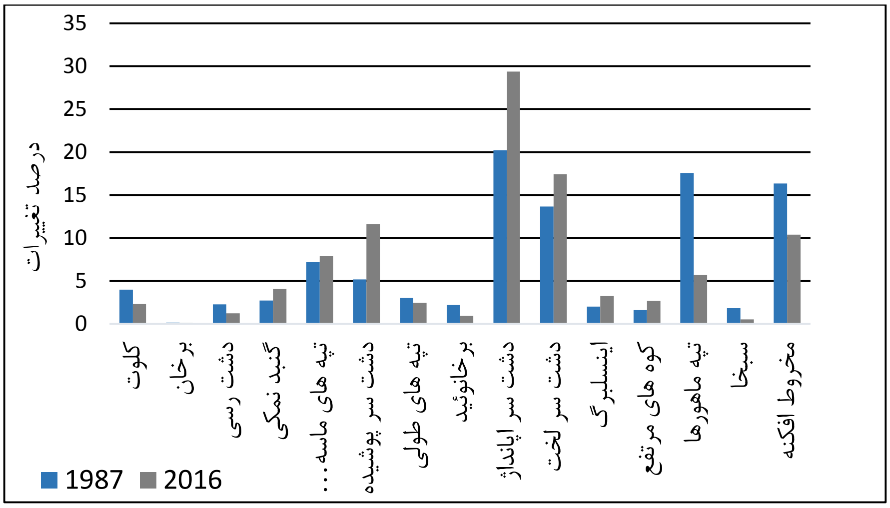
درنهایت به‌منظور بررسی ماهیت تغییرات از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. جدول ۵ تغییرات کلاس‌های لندفرم‌ها بر حسب مساحت و درصد در دو سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦ و همچنین شکل ٦ آشکارسازی تغییرات لندفرم‌های ژئومورفیک را طی ۳۰ سال آماری را نشان می‌دهد.

جدول ۵. تغییرات مساحت (هکتار و درصد) لندفرم‌های ژئومورفولوژی در دوره ۲۰۱٦-۱۹۸۷

		مساحت ۱۹۸۷		مساحت ۲۰۱٦		روند تغییرات مساحت لندفرم‌ها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱٦
طبقه	کلاس	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
۱	کلوت	۷۱/۶۲۵۰	۹۹/۳	۵۶/۳۶۳۷	۳۲/۲	منفی
۲	برخان	۸۵/۲۷۴	۱۷/۰	۴۸/۱۷۸	۱۱/۰	منفی
۳	دشت رسی	۹۸/۳۵۷۷	۲۸/۲	۵۶/۱۹۲۲	۲۲/۱	منفی
٤	گنبد نمکی	۳۰/۴۲۸۱	۷۳/۲	۵۶/۶۳۲۷	۰۴/۴	مثبت
۵	تپه‌های ماسه‌ای موجدار	۷۷/۱۱۲۱۰	۱۷/۷	۲۳/۱۲۳۳۷	۸۹/۷	مثبت
٦	دشت سر پوشیده	۸۵/۸۰۷۵	۱۶/۵	۵۲/۱۸۱۶۲	۶۱/۱۱	مثبت
۷	تپه‌های طولی	۱۸/۴۷۱۰	۰۱۳/۳	۱۵/۳۸۷۳	۴۷/۲	منفی
۸	برخانوئید	۰۵/۳۴۳۳	۱۹/۲	۲۷/۱۴۷۳	۹۴/۰	منفی
۹	دشت سر اپانداژ	۷۲/۳۱۶۱۵	۲۲/۲۰	۴۸/۴۵۸۹۵	۳۵/۲۹	مثبت
۱۰	دشت سر لخت	۳۳/۲۱۳۶۷	۶۶/۱۳	۱۹/۲۷۲۲۹	۴۱/۱۷	مثبت
۱۱	اینسلبرگ	۵۴/۳۱۳۹	۰۰۸/۲	۰۶/۵۰۸۲	۲۵/۳	مثبت
۱۲	کوه‌های مرتفع	۳۹/۲۴۹۴	۵۹/۱	٤۱۹۱/٦۹	۸۶/۲	مثبت
۱۳	تپه ماهورها	۶۶/۲۷۴۹۳	۵۸/۱۷	۶۸/۸۹۲۹	۷۱/۵	منفی
۱٤	سبخا	۶۷/۲۸۳۵	۸۱/۱	۰۸۴/۸۲۱	۵۲/۰	منفی
۱۵	مخروط افکنه	۳۹/۲۵۵۵۰	۳۴/۱۶	۹۰/۱۶۲۴۹	۳۹/۱۰	منفی
جمع کل		۴۷/۱۵۶۳۱۱	۱۰۰	۴۷/۱۵۶۳۱۱	۱۰۰	

همانطورکه جدول مذکور و شکل ٦ نشان می‌دهد کلاس غالب در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱٦ کلاس دشت سر آپانداژ بوده است. سپس تپه ماهورها با ۱۷/۵۸ درصد از کل منطقه در رتبه بعدی بیشترین مساحت در سال ۱۹۸۷ قرار دارد ولی این لندفرم روند نزولی ۱۱/۵۸ درصد تا سال ۲۰۱٦ داشته است. در سال ۱۹۸۷ کلاس برخان با ۰/۱۷ درصد کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است و روند نزولی را با ۰/۱۱ درصد در سال ۲۰۱٦ طی کرده است. لازم به ذکر است که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تفکیک و تحلیل تغییرات لندفرم‌هایی مانند گنبد نمکی، اینسلبرگ و

کوه‌های مرتفع که در بازه‌های زمانی طولانی مدت ایجاد شده‌اند با روش الگوریتم حداکثر شباهت و طی ۳۰ سال آماری به راحتی امکان پذیر نیست، زیرا بر اساس نتایج طی ۳۰ سال آماری دارای روند صعودی بودند و این بدلیل شباهت انعکاسات طیفی مجاور آنهاست که پیکسل‌های بیشتری را با این الگوریتم جایگزین پیکسل‌های این لندفرم‌ها کرده‌اند ولی بر اساس نتایج، تفکیک و تحلیل تغییرات لندفرم‌هایی مانند اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای در دوره زمانی کوتاه مدت ۳۰ سال با روش الگوریتم حداکثر شباهت امکان پذیر بود.

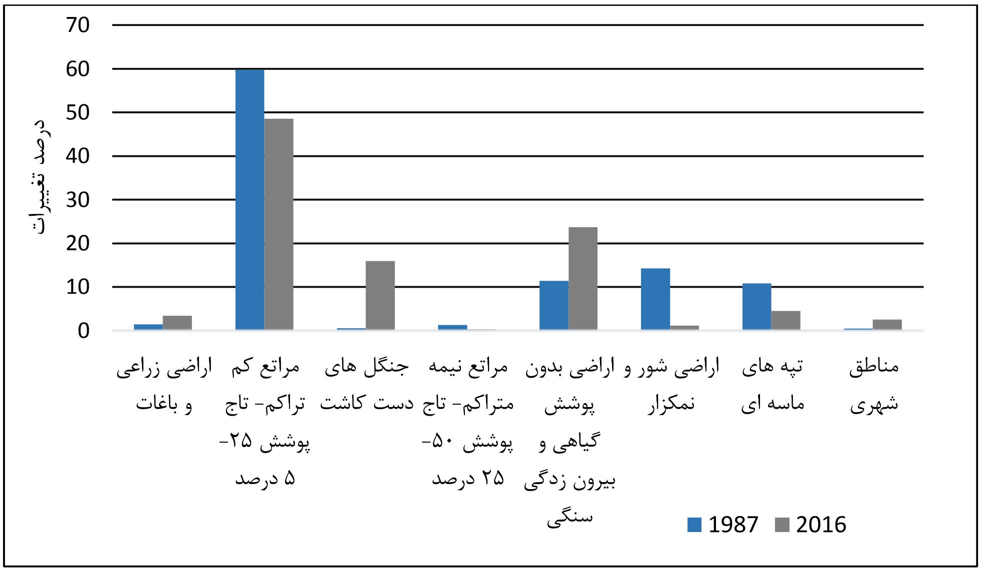


شکل ٦: درصد تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژی با الگوریتم حداکثر احتمال طی سال‌های ۲۰۱٦-۱۹۸۷

تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی طی ۳۰ سال آماری بر حسب مساحت و درصد (جدول ٦ و شکل ۷) نشان می‌دهد که کلاس غالب در سال ۱۹۸۷ کلاس مراتع کم تراکم- تاج پوشش ۲۵-۵ درصد بوده است که حتی با کاهش مساحت این کلاس در سال ۲۰۱٦، همچنان کلاس غالب در این سال هست. سپس اراضی شور و نمکزار با 22312/٦۳ هکتار از کل منطقه در رتبه بعدی بیشترین مساحت در سال ۱۹۸۷ قرار دارد ولی روند نزولی تا ۱/۱٤ درصد در سال ۲۰۱٦ داشته است. در سال ۱۹۸۷ کلاس مناطق شهری با ۰/٤٦ درصد کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است و رشد صعودی ۲/۰۳ درصدی را تا سال ۲۰۱٦ داشته است. کلاس ۳ نیز با احداث جنگل‌های دست کاشت به‌منظور بیابان زدایی، رشد ۱۵/۳٦ درصدی را طی ۳۰ سال نشان می‌دهد.

جدول ٦. تغییرات مساحت (هکتار و درصد) کاربری اراضی در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱٦

		مساحت ۱۹۸۷		مساحت ۲۰۱٦		روند تغییرات مساحت کاربری اراضی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱٦
طبقه	کلاس	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
۱	اراضی زراعی و باغات	۸۰/۲۲۲۶	۴۲/۱	۱۲/۵۳۵۵	۴۲/۳	مثبت
۲	مراتع کم تراکم- تاج پوشش ۲۵-۵ درصد	۲۱/۹۳۴۰۴	۷۵/۵۹	۹۹/۷۵۹۰۹	۵۶/۴۸	منفی
۳	جنگل‌های دست کاشت	۹۳/۹۰۶	۵۸/۰	۹۳/۲۴۹۳۰	۹۴/۱۵	مثبت
٤	مراتع نیمه متراکم- تاج پوشش ۵۰-۲۵ درصد	۳۲/۲۰۱۶	۲۸/۱	۷۲۳/۳۴۸	۲۲/۰	منفی
۵	اراضی بدون پوشش گیاهی و بیرون زدگی سنگی	۲۶/۱۷۸۲۱	۴۰/۱۱	۵۶/۳۷۰۷۲	۷۱/۲۳	مثبت
٦	اراضی شور و نمکزار	۶۳/۲۲۳۱۲	۲۷/۱۴	۷۰/۱۷۸۵	۱۴/۱	منفی
۷	تپه‌های ماسه‌ای	۹۷/۱۶۸۹۰	۸۰/۱۰	۰۷/۷۰۰۳	۴۸/۴	منفی
۸	مناطق شهری	۲۸/۷۳۲	۴۶/۰	۳۴/۳۹۰۵	۴۹/۲	مثبت
جمع کل		۴۷/۱۵۶۳۱۱	۱۰۰	۴۷/۱۵۶۳۱۱	۱۰۰	



شکل ۷. تغییرات کاربری اراضی با الگوریتم حداکثر احتمال طی سال‌های ۲۰۱٦-۱۹۸۷

٤- جمع بندی

استفاده از ویژگی تکراری بودن و پوشش دادن وسیع داده‌های دورسنجی در زمان‌های مختلف، شناسایی و بررسی پدیده‌های متغیر و پویا در مناطق بیابانی و آشکارسازی تغییرات بیابان‌زایی را امکان پذیر می‌کند. همچنین روش‌های رقومی مختلفی جهت آشکارسازی و کشف تغییرات و تحولات سطح زمین در سنجش‌ازدور توسعه داده شده است. در این پژوهش با استفاده از سری داده چند طیفی و روش طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال جهت تهیه نقشه لندفرم‌های ژئومورفیک و کاربری اراضی منطقه و بررسی تغییرات آنها در بیابان‌زایی پرداخته شد. نتایج حاصل، بیانگر کارایی الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی مناسب لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه است؛ این نتایج با نتایج شایان (۱۳۹۱) و نعیمی نظام آباد (۱۳۸۸)، علوی پناه (۱۳۸۲) مطابقت دارد که کارایی و دقت این الگوریتم را در طبقه‌بندی لندفرم‌ها نشان می‌دهد. همچنین اکثر محققان روش حداکثر احتمال را در طبقه‌بندی کاربری اراضی روش دقیقی نسبت به سایر روش‌ها می‌دانند (ربیعی و همکاران، ١٣٨٤؛ نیازی و همکاران، ١٣٨٩).

همچنین نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات لندفرم‌ها و کاربری اراضی نشان داد که لندفرم‌های مختلف تپه ماسه‌ای و دشت رسی و کلوت که بروی دشت سر پوشیده قرار گرفته‌اند تا سال ٢٠١٦ دارای روند نزولی بودند و نتایج حاصل از کاربری اراضی نیز نشان می‌دهد که در همین محدوده که مساحت این لندفرم‌ها کاهش یافته است؛ مناطق شهری رشد ۲/۰۳ درصد و اراضی زراعی و باغات رشد ۲ درصد تا سال ٢٠١٦ داشتند، از طرف دیگر وسعت جنگل‌های دست کاشت ٩٠٦/٩٣ هکتار در سال ١٩٨٧ به ٢٤٩٣٠/٩٣ هکتار در سال ٢٠١٦ افزایش یافته است. این نتایج نمایانگر آن است که در محدوده مورد مطالعه در طی ۳۰ سال، نه‌تنها بر وسعت اراضی بیابانی افزوده نشده است، بلکه از محدوده اراضی بیابانی کاسته شده و بر دیگر کاربری‌ها بر اثر عوامل انسانی افزوده شده است، همانطور که اختصاصی (۱۳۸۳) به این نتیجه رسید که ارگ یزد بدلیل تغییر کاربری تپه‌های ماسه‌ای به اراضی کشاورزی و غیره، با رشد منفی در سال‌های بین ١٣٥٣ تا ١٣٨٢ مواجه بوده است. چنانکه نتایج مطالعات پیشین برای کاربری اراضی مانند محدوده شهر اردکان (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷) نیز با این نتیجه تطابق دارد و بیانگر اینست که وسعت مناطق بیابانی به میزان ١٦٠ هکتار کاهش یافته است و شاهد افزایش مساحت کاربری‌های دیگر در محدوده شهر اردکان بودند. همچنین بر اساس پژوهش حاضر مشخص شد که مساحت سبخا (اراضی شور)، طی ۳۰ سال دارای روند نزولی بوده است، تطابق این نتیجه نیز با نتایج مطالعه میر باقری و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که با افزایش تعداد حفر چاه در دشت یزد-اردکان، امکان به زیر کشت بردن اراضی زیادی فراهم شده تا حدی که ٤٦٥ هکتار از اراضی شور را نیز ساکنین منطقه به زیر کشت برده‌اند؛ بنابراین در تغییرات لندفرم‌های بیابانی منطقه عوامل طبیعی توأم با عوامل انسانی نقش داشتند. این نکته قابل ذکر هست که نتایج طبقه‌بندی تغییرات لندفرم‌ها نشان می‌دهد که وسعت

دشت سر پوشیده از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱٦ با افزایش هکتار افـزایش یافتـه اسـت. در غـرب منطقـه نیـز در سـال ۲۰۱٦ شاهد افزایش دشت سر اپانداژ و دشت سر لخت هستیم.

همچنین تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی طی ۳۰ سال آماری نشان داد که مراتع کم تـراکم- تـاج پوشـش ۲۵-۵ درصد با کاهش ۱۷٤۹٤/۲۲ هکتار تا سال ۲۰۱٦ روبرو شده است و به اراضی بدون پوشـش گیـاهی و بیـرون زدگـی سنگی تبدیل شده است که این تغییرات در شرق منطقه مشخص است. در این راستا بـا مطابقـت بـا نقشـه طبقه‌بنـدی لندفرم‌ها در شرق منطقه، کاهش چشمگیر تپه ماهورها و گسترش دشت سر آپانداژ و گنبد نمکی بجـای تپـه ماهورهـا مشخص است.

منابع

اختصاصی، محمدرضا؛ احمدی، حسن؛ باغستانی، ناصر؛ خلیلی، علی؛ فـیض نیـا، سـادات؛ ۱۳۷۵. منشـأیابی تپـه‌های ماسه‌ای در حوزه دشت یزد-اردکان. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

اختصاصی، محمدرضا؛ سپهر، عادل؛ ۱۳۹۰. روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشـه بیابـان‌زایی، انتشـارات دانشـگاه یزد.

آرخی، صالح؛ ۱۳۹۳. تهیه نقشه کاربری اراضی دشت عباس ایلام با اسـتفاده از روش‌هـای شـبکه عصـبی مصـنوعی. ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال. نشریه مرتع داری. شماره ۲، ۳۰-٤۳.

آرخی، صالح؛ ۱۳۹٤. آشکارسازی تغییرات پوشش-کاربری اراضی با پردازش شیءگرای تصاویر مـاهواره‌ای مـواد و روش‌ها با استفاده از نرم افزار Idrisi selvi (مطالعـه مـوردی: منطقـه آبـدانان). فصـلنامه اطلاعـات جغرافیـایی (سپهر). شماره ۹۵، ۵۱-٦۲.

اکبری، الهه؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ تقوی مقدم، ابـراهیم؛ ۱۳۹۵. پـایش تغییـرات کـاربری اراضـی بـا اسـتفاده از روش‌های مختلف تئوری آموزش آماری منطقه نیشابور. مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۲۰، ۳۵-٤۹.

جعفری، مهدی؛ زهتابیان، غلامرضا؛ احسانی، امیرهوشنگ؛ ۱۳۹۲. بررسی تأثیر باند حرارتی و الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشـه‌های کـاربری اراضـی کاشـان (مطالعـه مـوردی: کاشـان). فصـلنامه تحقیقات مرتع و بیابان و ایران، شماره ۱، ۷۲-۸۷.

خلیلی، علی؛ ۱۳۷۱. اقالیم خشک و فراخشـک. چاپ در مجموعـه مقـالات سـمینار بررسی مسـائل منـاطق بیابـانی و کویری ایران - یـزد، مرکـز تحقیقـات کـویری و بیابانی ایران وابسته به دانشگاه تهران. صص ۱٤-۳۲.

ربیعی، حمیدرضا؛ ضیائیان، پرویز؛ محمدی، عباسعلی؛ ۱۳۸٤. کشف و بازیابی تغییـرات کـاربری و پوشـش اراضـی شهر اصفهان به کمک سنجش‌ازدور وسیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ٤، ۱۹-۳۲.

سفیانیان، علیرضا؛ مدنیان، ملیحه السادات؛ ۱۳۹۰. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی کننده حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: استان اصفهان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۷، ۲۵۳-۲٦٤.

شایان، سیاوش؛ یمانی، مجتبی؛ فرج زاده، منوچهر؛ احمدآبادی، علی؛ ۱۳۹۱. طبقه‌بندی نظارت شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک، مطالعه موردی: منطقه مرنجاب. سنجش‌ازدور و GIS ایران. سال چهارم، شماره ۲، ۱۹-۲۸.

صفری، عبدالرضا؛ آوریده، حمیدرضا؛ همایونی، سعید؛ خزایی، صفا؛ ۱۳۹۳. برآورد عمق آب‌های ساحلی به کمک تصاویر سنجش‌ازدور فراطیفی. نقشه برداری و اطلاعات مکانی، شماره ۱، ۱-۵.

عطاپورفرد، عباس؛ حسینی، مجید؛ خسروشاهی، محمد؛ ۱۳۸۳. شناسایی و تفکیک مناطق بیابانی از دیدگاه ژئومورفولوژیکی، مطالعه موردی: استان تهران. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۳. ۲۷۵-۲۸٦.

علوی پناه، ک؛ ۱۳۸۲. کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران.

فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف؛ ۱۳۸٤. مبانی سنجش‌ازدور. انتشارات آزاده.

قنواتی، عزت اله؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ علوی نژاد، سیدنظام؛ ۱۳۸٦. آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیک و کاربری با استفاده از GIS و RS اراضی خورموسی. نشریه زمین شناسی مهندسی، شماره ۲، ٤۱۳-٤۳۰.

کرینسلی، دانیل؛ ۱۳۵۰. مطالعه ژئومورفولوژی و آب و هوای گذشته (پلایای ایران)، سازمان جغرافیای کشور.

گیویی اشرف، زهرا؛ سر کارگر اردکانی، علی؛ ۱۳۹۰. پایش کاربری اراضی با استفاده از سنجش‌ازدور به‌منظور ارزیابی بیابان‌زایی، مطالعه موردی: دشت مروست، استان یزد. چاپ در مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک. صص ۱-۷.

مرادی، حمیدرضا؛ فاضل پور، محمدرضا؛ صادقی، حمیدرضا؛ حسینی، زین العابدین؛ ۱۳۸۷. بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان‌زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش‌ازدور. فصلنامهٔ تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شماره ۱، ۱-۱۲.

مقیمی، آرمین؛ عبادی، حمید؛ صادقی، وحید؛ ۱۳۹۵. مروری بر روش‌های شناسایی تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه با رویکرد پیکسل پایه و شیٔ پایه. نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، شماره ۲، ۹۹-۱۱۰.

ملامهر علیزاده، فاطمه؛ جنتی، مهدی؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۸۳. کارایی داده‌های سنجش‌ازدور (RS) در تهیه نقشه‌های لندفرم و نقش آن در برنامه ریزی محیطی. فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ٤، ۱۱۱-۱٤۸.

میرباقری، وهب؛ برادران نصیری، مهران؛ زارع ارنانی، محمد؛ ۱۳۸۷. بررسی امکان پایش تغییرات پوشش گیاهی دشت یزد-اردکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست بین سال‌های ۱۹۷٦-۲۰۰۲. همایش ژئوماتیک ۸۷. تهران، صص ۱-۱۰.

نعیمی نظام آباد، علی؛ قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. آشکارسازی تغییرات لندفرم‌های ساحلی منطقه عسلویه. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی –پژوهشی، شماره ۲۲، ٦۵–۵۹.

نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ ملکی نژاد، حسین؛ حسینی، زین العابدین؛ مرشدی، جعفر؛ ۱۳۸۹. مقایسه دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام). مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، ۱۱۹–۱۳۲.

Chen KS, Yen SK, Tsay DW., 1997. Neural classification of SPOT imagery through integration of intensity and fractal information. Remote Sensing, 18: 763–783.

Clarke KC, Parks BO, Crane M., 2002. Geographic Information Systems and Environmental Modeling," Prentice hall upper saddle river.

Congalton RG., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment. 37: 35-46.

DeFries RS, Townshed JG., 1994. NDVI derived land cover classification at a globe scale. Remote Sensing. 5: 3567-3586.

Foody GM., 2002. Hard and soft classifications by a neural network with a non exhaustively defined set of classes. Remote Sensing. 23: 3853–3864.

Howald KJ., 1989. Neural network image classification. Proceedings of the ASPRS-ACSM Fall Convention (Falls Church, VA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 207-215.

https://earthexplorer.usgs.gov/

Kavzoglu T, Mather PM., 2004. The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification. International Journal of Remote Sensing, 24: 4907–4938.

Kenneth M, Gunter M., 2012. Monitoring Land-Use Change in Nakuru Kenya Using Multi-Sensor Satellite Data. advance remote sensing, 3: 74-78.

Lillesand TM, Kiefer RW., 1994. Remote sensing & image interpretion. John wiley and sons Inc, New York.

Lu D, Mausel P, Brondizio E, Moran E., 2004. Change detection techniques, Remote Sensing, 25: 2365 – 2401.

Mannan B, Roy J, RAY AK., 1998. Fuzzy ARTMAP supervised classification of multi-spectral remotely-sensed images. Remote Sensing, 19: 767–774.

Masoud AA, Kike K., 2006. Arid land salinization detected by remotely –sensed land cover changes, A case study in the Siwa region. Nw Egypt. Arid Environments, 66: 151-167.

Richards JA, Jia X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction, 4th Edition, Springer, Germany, Berlin, Heidelberg.

Ridd MK, Liu J., 1998. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. Remote Sensing of Environment, 63: 95-100.

Soffianian A, Madanian MA., 2012. Comparison of Maximum likelihood and Minimum Distance to Mean classifiers in preparing land cover map (A case study: Isfahan area), 57: 253-264.

Sunar F., 1998. An analysis of changes in Multi-dataset, a case study in the Ikitelia area, Istanbul, Turkey. Remote sensing, 19: 225-235.

Tso B, Mather PM., 2009. Classification Methods for Remotely Sensed Data. Taylor and Francis Pub, America.

Yang M, Shoaling W, Tandong Y, Xiaohua G, Anxin L, Xuejun G., 2004. Desertification and its relationship with permafrost degradation in Qinghai-xizang (Tibet) plateau, Cold Reg. Sci. Technol. 39: 47-53.